

MP19: Condensateurs, effets capacitifs, applications

B.Brun, S.Vaupre

22 janvier 2010

Bibliographie

- [1] *Electronique expérimentale*, Krob, Ellipses.
- [2] Duffait élec

Table des matières

1	Condensateurs	2
1.1	Le condensateur d'Aepinus	2
2	Méthodes de mesure de la capacité	2
2.1	Charge et décharge du condensateur	2
2.2	Oscillateur de Wien	2
3	Application au filtrage	3
3.1	Filtre passif	3
3.2	Decteur de crêtes	3
3.3	Petit interlude	3
4	Capacité parasite d'un cable coaxial	4

Introduction

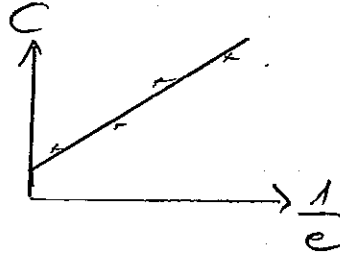
Les condensateurs sont omniprésents dans tous types de circuits électroniques, mais on trouve également des condensateurs "naturels", comme lors des orages. Nous allons essayer de mettre en lumière les caractéristiques des condensateurs, notamment l'influence de leur géométrie et leur réponse à un échelon de tension. Nous dégagerons certains aspects de leur comportement, et les applications que l'on peut en tirer. Enfin nous étudierons les effets capacitifs indésirables qui peuvent apparaître dans certains composants électroniques.

1 Condensateurs

1.1 Le condensateur d'Aepinus

On se propose d'étudier les effets géométriques sur la capacité d'un condensateur d'Aepinus. Le condensateur d'Aepinus est formé de 2 plaques de conducteur séparées par un diélectrique. On trace $C = f(\frac{1}{e})$ où e est l'épaisseur du diélectrique.

On vérifie la relation théorique $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{e}$. En estimant S , on peut en déduire une valeur de ϵ_0 .



$$C = a \cdot \frac{1}{e} + b$$

↑
capa parasites

$\epsilon_0 =$

Valeur tabulée : $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$.

On peut aussi mesurer la permittivité du verre : $\epsilon_r =$

Valeur tabulée $\epsilon_r = 5 - 7$ Remarque (si on a le temps) : expérience de la boule conductrice chargée, on approche une pointe métallique reliée à la terre : on voit un éclair. Applications : les p'tits trucs pour allumer le gaz, les éclairs lors d'un orage... Le but est de montrer les limites d'un condensateur quand on dépasse le seuil d'ionisation du diélectrique par une d.d.p. trop importante.

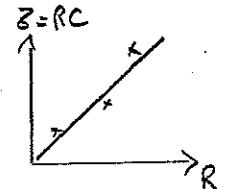
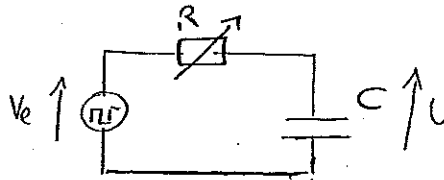
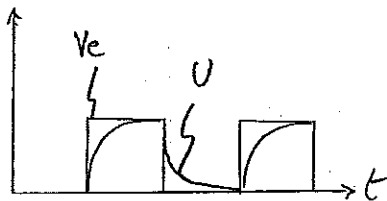
MAIS...

2 Méthodes de mesure de la capacité

2.1 Charge et décharge du condensateur

On soumet le condensateur à une fonction créneau, et on mesure sa réponse en tension :

On détermine la constante de temps de la décharge exponentielle par la méthode des tangentes à l'origine.

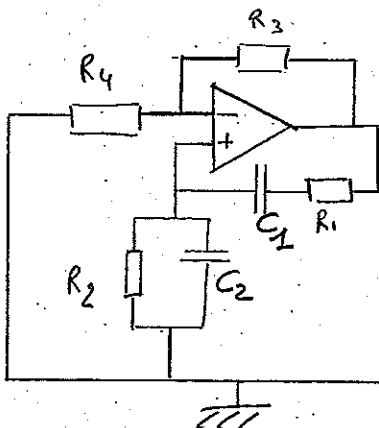


On le fait pour plusieurs valeurs de R et on trace $\tau = f(R) \rightarrow$ on obtient une droite de pente C .

Attention, il vaut mieux mettre un suiveur après le GBF car sinon il ne peut pas vraiment suivre en tension (trop de courant demandé).

2.2 Oscillateur de Wien

On utilise la condition d'apparition d'oscillations pour l'oscillateur quasi-sinusoidal de Wien : La



$\rightarrow$ on fait varier C_2 pour mesurer C_1 .

condition d'oscillations s'écrit : $\frac{C_2}{C_1} = \frac{R_3}{R_4} - \frac{R_1}{R_2} = 1,137$ (mesuré en préparation) Avec C_2 variable, on peut mesurer C_1 inconnu en faisant varier C_2 jusqu'à l'apparition des oscillations.

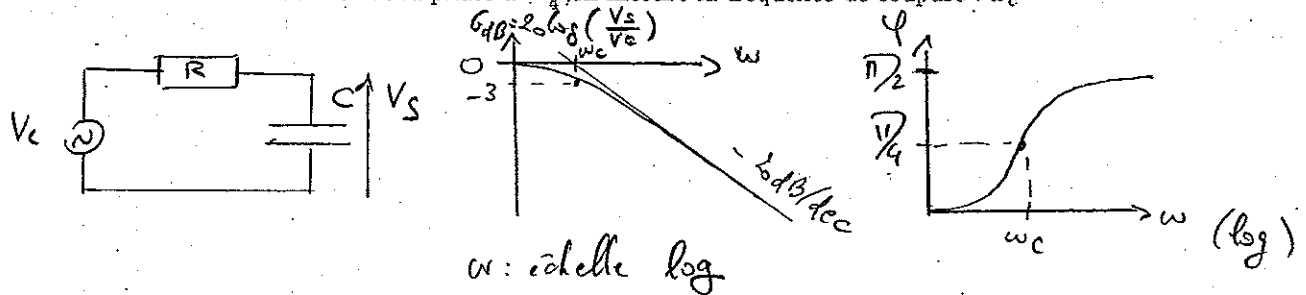
$$C_2 =$$

$$\rightarrow C_1 =$$

3 Application au filtrage

3.1 Filtre passif

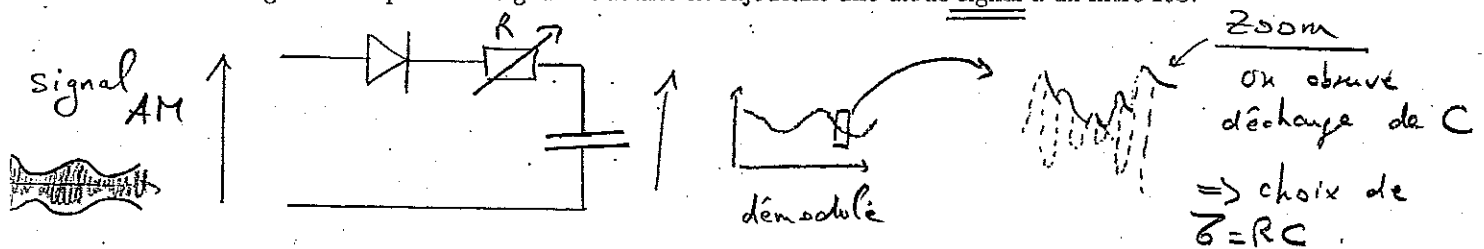
On réalise un filtre RC, on trace le diagramme de Bode du filtre en mesurant $\frac{V_s}{V_e}$ et le déphasage. A l'aide du critère à -3dB et de la phase à $-\frac{\pi}{4}$, on mesure la fréquence de coupure : $\omega_c =$



On observe qu'à haute fréquence, le filtre se comporte comme un intégrateur (de gain < 0). Ceci a un intérêt considérable (sluurp) et peut être utilisé dans beaucoup d'applications... Observation expérimentale : soumettre le filtre à un créneau de fréquence $\gg \omega_c$

3.2 Detecteur de crêtes

Il s'agit de récupérer un signal modulant en rajoutant une diode signal à un filtre RC.

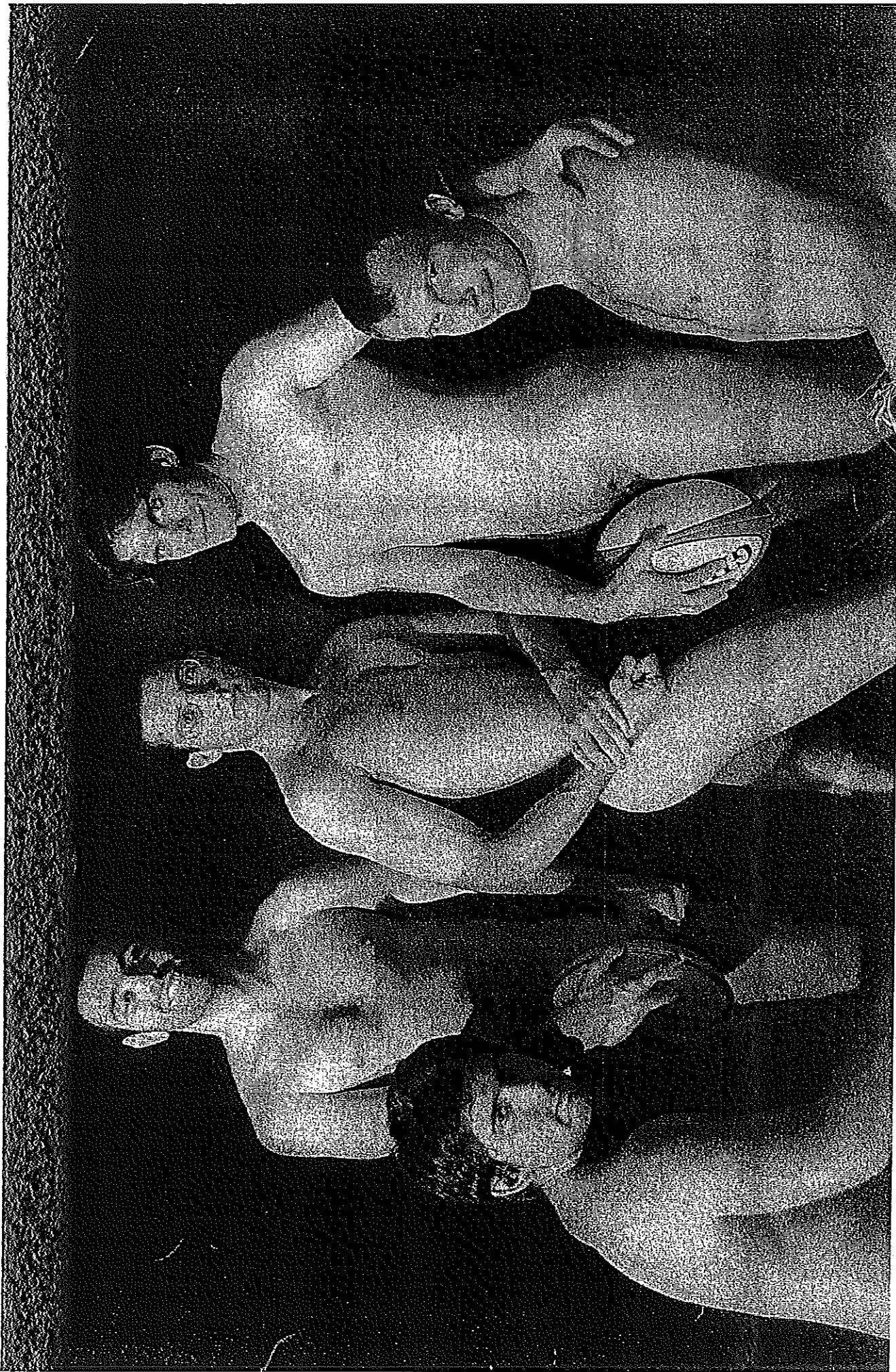


On observe que la fréquence de coupure du filtre doit être très grande devant la fréquence du signal modulant et très petite devant la fréquence de la porteuse (sans quoi le condensateur brouille l'écoute...)

(On voulait faire des mesures de la distorsion : $V = \frac{a_0^2}{\sum_{i=1}^{\infty} a_i^2}$, mais synchronie ne traite pas assez bien le signal pour détecter l'intensité spectrale des harmoniques quand celles-ci sont trop faibles...)

3.3 Petit interlude

Jérémy vous offre le MP19, saurez-vous le reconnaître à $\pm 5\%$?



Leçon n° 3 : les adversaires tu plaqueras

4 Capacité parasite d'un câble coaxial

On se propose de mesurer la capacité parasite linéique d'un câble coaxial. On prend un câble coaxial de 80m, la capacité linéique donnée par le constructeur est de 100 pF.m^{-1} . On utilise l'oscillateur de Wien présenté juste avant en introduisant un câble coax à la place de C_1 , et on joue avec C_2 variable pour repérer l'apparition des oscillations. Attention, brancher d'un côté le coeur du câble et la gaine de l'autre.
Valeur mesuré : $C_l = \quad \text{F.m}^{-1}$

Conclusion

Les condensateurs sont des composants à la base de toute l'électronique. On a mis en évidence leur réponse à un échelon de tension et leur évolution en fonction des paramètres géométriques. On a également pu voir les limites des condensateurs basés sur le principe d'Aepinus, quand la ddp devient trop importante. Il existe également d'autres types de condensateurs, comme les condensateurs chimiques, qui peuvent avoir des capacités beaucoup plus importantes mais sont unidirectionnels et présentent une importante résistance de fuite. Beaucoup de méthodes de mesures de capacité sont basées sur des oscillateurs, à relaxation (comme le multivibrateur astable) ou quasi-sinusoidaux, comme l'oscillateur de Wien présenté dans ce montage. On peut aussi les mettre en série avec une bobine et repérer la résonance du circuit pour évaluer C (principe du L-C mètre). Enfin on a pu voir leur intérêt primordial dans le traitement analogique des signaux, pour réaliser des opérations comme le filtrage. Bref, les condensateurs, c'est cool !

Rq : pour § 4 : branchement du coax :

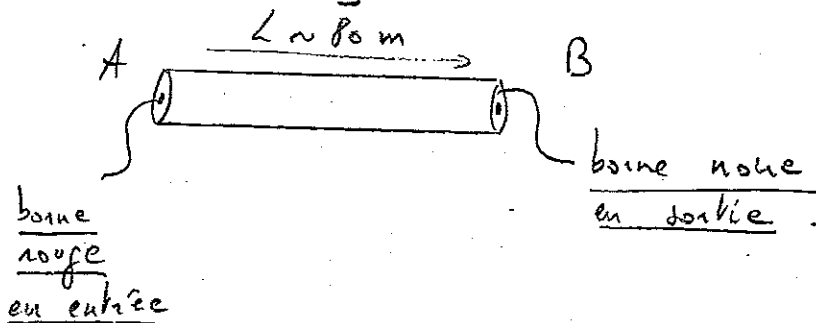
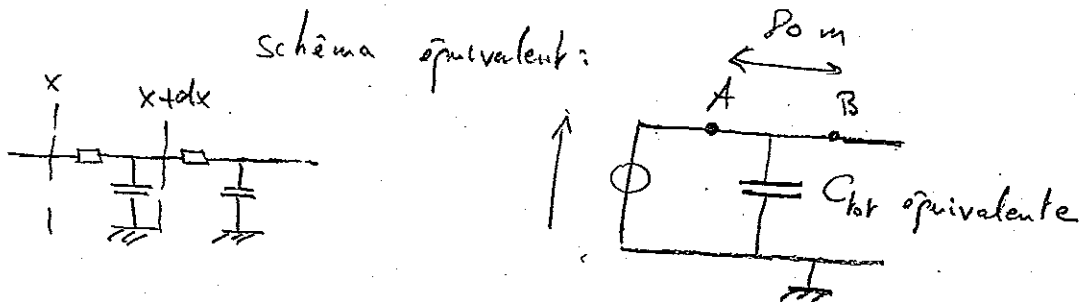


schéma équivalent :



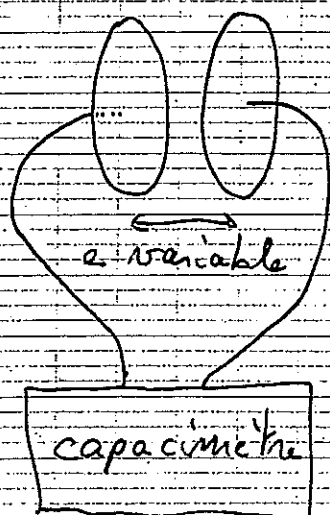
MP19: Condensateurs, effets capacitifs

par Henri

Intro Les condensateurs sont très présents en électronique. Ils servent notamment à réaliser des filtres ou à modifier un facteur de puissance.
(J'en ai pas dit plus pour l'introduction, c'est un montage, l'important c'est de manipuler)

I Condensateur

1) Condensateur d'Ayrton



On a (en théorie) sous certaines hyp.

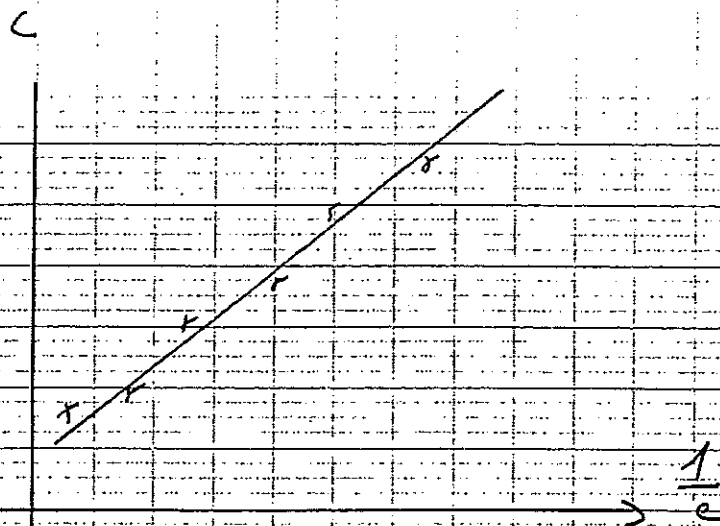
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{a}$$

On trace avec synchronisme (et on converge, car synchronisme ça plante !)

C en fonction de $\frac{1}{a}$

(scotcher les fils pour éviter qu'ils bougent trop)

Prendre un point
devant les JURY
et les rajouter
sur la courbe



On modélise ensuite par une droite
affine $C = a \times \frac{1}{\epsilon} + b$

(on rajoute le paramètre b à cause des
capacités parasites des fils par exemple)

$a \approx 32 \text{ pF}$ et $b = \dots$

avec $a = \epsilon_0 \epsilon_r S$, on connaît S , $\epsilon_r \approx 1$
on a donc une mesure de ϵ_0 (acc)

$$\epsilon_0 = 8,81 \pm 0,2 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$$

c'est correct

incertitudes :

• sur a : 0,1 mm (lecture au vernier), soit
environ 2% d'erreur

• sur C : on va voir la notice de l'appareil
(qu'on a demandée aux techniciens), et
ça vaut environ 1% (la plupart des
multimètres ont environ 1% d'erreur).

bref, environ 3% d'erreur sur ϵ_0

On compare à $\epsilon_0 \text{ tabulé} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$

Comme j'aurais le temps le jour J,
j'ai aussi tracé à la main les bornes
d'erreur sur synchronie

(en créant 3 variables : C_{max} , C_{min} , C_{mesur})

C_{min} : C_{mesur} = ce que je mesure,

$C_{max} = 1,03 \times C_{mesur}$, $C_{min} = 0,97 \times C_{mesur}$

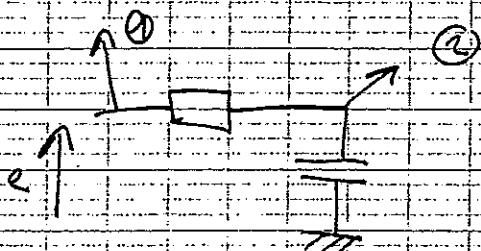
Application du condensateur d'Aerinus : Calcul de ϵ_r
Ensuite, on met une plaque de verre ou
de plexiglas entre les deux armatures, et
calculant ϵ_r , ϵ_0 et C on calcule ϵ_r
épaisseur 3,8 mm. $C = 80 \mu F$

$$\epsilon_r = 6,4 \pm 0,2$$

Toujours 300

2) Caractéristique courant tension

$i = C \frac{du}{dt}$ → on va pouvoir faire un filtre



Filter RC
(Rend le courant sur place)
↳ il est simple.

A la fréquence de coupure, $\varphi = 45^\circ$ (déphasage
entre ① et ② mesuré à l'oscilloscope) et

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

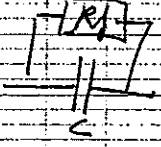
Signal Bruité → moyenne du signal
sur 16 points (ici)

pour l'incertitude sur f , on regarde les valeurs de f pour lesquelles $\varphi = 45^\circ$ et $\varphi = 46^\circ$.

$\rightarrow f = 1268 \pm 4 \text{ Hz } \pm 0.5\%$
 on a mesuré $R = \pm \text{ } \Omega$ (plus 10%) 10%
 $\Rightarrow C = (140 \pm 0.1) 10^{-9} \text{ F}$

on vérifie ensuite au capacimètre que C est bien ça.

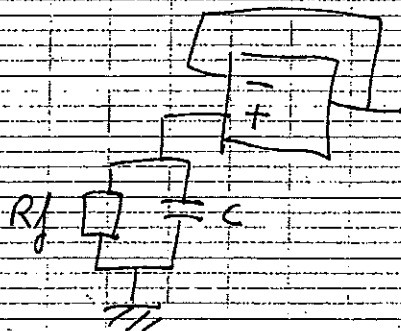
3) Résistance de fuite

Condensateur =  en haute fréquence

on prend un condensateur électrochimique car R_f est plus petite que pour les autres.

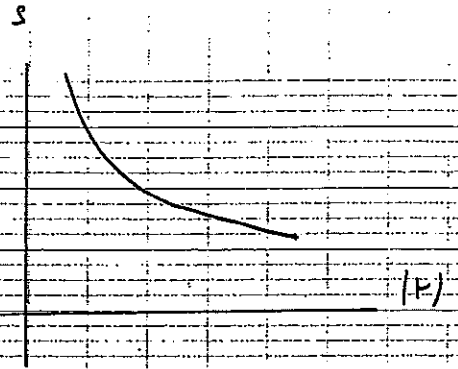
On charge le condensateur à $+5 \text{ V}$ (on vérifie au voltmètre)
 (je rappelle qu'un condensateur électrochimique est polarisé, alors faites gaffe au sens)
 et on le met sur un A0 sévère

la juste pour pas qu'il ne se décharge dans l'appareil de mesure



5 min avec synchrone (sur 1/2 heure)

On trace ensuite $s(t)$:
(en préparation)
acquisition sur 15 min

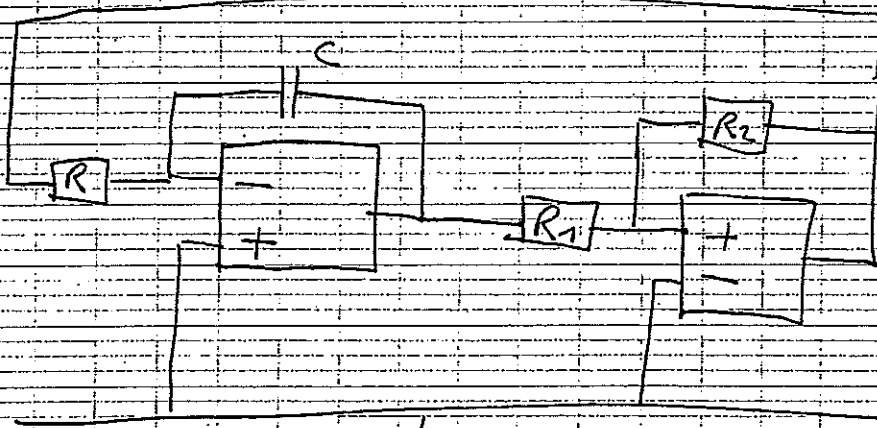


On modélise par $\Delta = 0.2$ plutôt marche
ça marche très mal, mais ça donne
l'ordg de R_f :

$$R_f \approx 1 \text{ G}\Omega \quad 10^8 / 10^9$$

(pour info, pour un oscillo, un multimètre ou
une carte d'acquisition, $R_{entrée} \approx 1 \text{ M}\Omega$
donc il faut surveiller si indispensable : $R_{entrée} \approx 10^{12} \Omega$)

II Mesure de capacité (Duffaut dec p 187)



limites =
on ne peut
pas
mesurer
des trucs
trop petites

intégrateur

comparateur
hysteresis

retroaction
positive

Cette expérience ne peut pas rater.
 essayer d'enlever le condensateur et
 les 3 résistances, ça oscille encore !
 Et cette expérience sert à d'autres
 montages (oscillateurs auto-entretenus, mesures
 techniques...)

bruf, ça oscille (si ça oscille pas,
 c'est qu'un H_0 est cassé !)
 et la période de l'oscillation est :

$$T = 4 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C$$

ou obtient un signal triangulaire
 si on observe un carré
 en entrée

on trace donc $T = f(C)$ pour beaucoup
 de valeurs de C (au moins 3 ord.)
 et on ajuste par une loi affine :

$$T = a \cdot C + b$$

$$a = \frac{\Delta T}{\Delta C} \quad b = \frac{\Delta T}{\Delta C} \cdot C_0 + T_0$$

on trouve $a = 4 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C$ en mesurant la
 période ou la capacité
 et surtout on mesure le valeur d'une
 capacité avec ! (parce que sinon se sert
 à rien de faire un capacimètre)

Et on va mesurer justement la capacité
 d'un câble coax.

III E/pls Capacités d'autres composants

1) le câble coax

prendre le coax de 80 m, le brancher sur le capacimètre qu'on a fait, et mesurer sa capacité linéique.

$$C_{\text{total}} = 2,51 \cdot 10^{-8} \text{ F} \pm 1\%$$

$$C_{\text{lin}} = (3,10 \pm 0,03) 10^{-10} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$L = 80,8 \pm 0,2 \text{ m}$$

incertitude :

- sur la longueur du coax : 20 cm, c'est la longueur du tronçon qui sépare les deux parties du câble, je ne sais pas si c'est compté dans les 80 m.
- sur ϵ_r
- sur a et b (rayons de l'âme et de la gaine)
- sur c (cf partie d'avant)

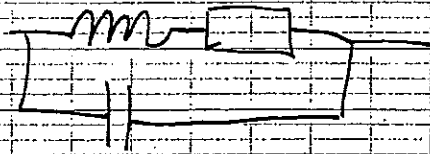
et on compare avec la valeur théorique

$$C_{\text{lin th}} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

(je crois, le prof J en tout cas je suis quasiment sûr et j'ai écrit une mauvaise formule)

2) bobine

bobine =



(j'ai pas eu le temps de le faire le jour J)

en préparation, j'ai fait:



et on regarde quand e et s sont en phase par la méthode de l'ellipse, et on dit qu'on a alors $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$L \approx 10 \text{ mH}$$

$$\Rightarrow C \approx 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ F}$$

$$f = 10 \text{ kHz}$$

pas d'incertitude car juste un ord.

Conclure, les condensateurs sont utiles en électronique, mais font faire gaffe aux effets capacitifs d'autres composants (44 pF pour ouïe par exemple)

Remarques:

c'est un montage, alors faut manipuler, surtout que c'est des expériences simples, alors on n'utilise qu'un seul oscillo, on fait les branchements en direct, et pour chaque expérience présentée, on raporte au moins un point de mesure.

Le jour J, on peut aller avec les techniciens chez son mater: utiliser le matériel avec lequel vous êtes à l'aise.

En montage, les techniciens ne montent pas les manip's eux-mêmes (ils le font en leçon). En revanche, ils font toutes les mesures répétitives, et ça fait vraiment gagner du temps. (je leur ai demandé une quinzaine de points pour le condensateur d'Aepinus, et une trentaine pour l'oscillateur, ils les ont faites, bien, et m'ont renvoyé les résultats sur synchronie.

Enfin, voici les questions que j'ai eues quand on dit $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{e}$, est-ce qu'on

questionne ou sous-estime C ?

Comment fait l'oscillo pour mesurer un déphasage?
Autre méthode pour la figure de coupure du RC?
inductuelle ou $1/\omega$ par l'amplificateur

courant de décharge

Pour le circuit RC, que mesure-t-on vraiment ? ($+50\Omega$ du générateur)

Pour le capacimètre, qu'est-ce qui limite la mesure ? Quelle est la plus petite valeur de capacité mesurable ?

Justification du protocole pour la mesure de la résistance de fuite ?

Autre méthode pour mesurer cette résistance ?

N'hésitez pas à me demander les réponses (enfin ce que j'ai répondu, je garantis pas que c'est correct)

Cette année, il y a "applications" dans le titre du montage : la mesure de Q . En fait, le filtrage avec le filtre RC sont déjà deux applications. Simon se peut rapporter à mon avis l'influence d'une capacité sur un facteur de puissance.

Voilà, j'ai eu en 19/20 à ce montage, avec des expériences très simples. Donc ne cherchez pas forcément les expériences compliquées, privilégiez ce qui marche.

Bibli

(pour le
capacimétrie)

Duffait dec { seul le Duffait m'a servi, mais
Kroob par principe on prend toujours les
deux livres pour faire de l'électronique

QIV condensateur d'Aepinus

Duffait capai (sert juste à avoir l'équivalent
d'une bobine =

